



УДК 624.15



АБАКАНОВ М.С.

Д-р технічних наук, член-корр. МІА и НДА РК, радник гендиректора, АТ «КазНДІБА», м. Алмати, Республіка Казахстан,
e-mail: m.abakanov@mail.ru

ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СЕЙСМОСТІЙКОМУ БУДІВНИЦТВІ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ З ВИСОКИМ РОСТВЕРКОМ

АНОТАЦІЯ

Робота виконана в Казахському ПромбудНДІпроекті (АТ КазНДІБА). досліджені три типи сейсмоізолюючих фундаментів – на ковзних опорах, кінематичних фундаментах та пальових фундаментах з високим ростверком. Для фундаментів з високим ростверком розглянуті два варіанти сполучення оголовків паль з ростверком: жорстке з'єднання і шарнірне з'єднання. Для проведення випробувань застосовувалася вібраційна машина В-3. Одночасно досліджувалися конструкції 9-ти поверхового великопанельного будинку серії 158 на сейсмоізолюючих фундаментах, на ковзних опорах та кінетичних фундаментах. Розроблено рекомендації щодо розрахунку та проектування будівель, що досліджуються.

Поряд з цим, проведено експериментальні дослідження одиночних паль і пальових фундаментів з високим ростверком жорсткого та шарнірного з'єднань. В статті представлені характеристики випробуваних паль, розглянуто зміни декрементів коливань із зменшенням несучої здатності та жорсткості паль. Випробуванням піддавалися два типи фундаментів з високим ростверком (з вільною висотою палі 1,6 м при жорсткому закладанні і висотою 2,1 м – при шарнірному з'єднанні з ростверком). В статті наведено результати розрахунку та експеримента.

Наведено порівняльні дані за результатами досліджень. Показано, що проведені випробування підтверджують аналогію роботи досліджуваних конструкцій з роботою будівель з «гнучким» нижнім поверхом. Перевага першого рішення полягає в підвищенні дисипації енергії та допущенні великих переміщень при дії горизонтальних сейсмічних навантажень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: пальовий фундамент, кінетический фундамент, високий ростверк, демпфер, ковзна опора.

АБАКАНОВ М.С. Д-р технических наук, член-корр. МИА и НИА РК, советник гендиректора, АО «КазНИИСА», г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: m.abakanov@mail.ru

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С ВЫСОКИМ РОСТВЕРКОМ

АННОТАЦИЯ

Работа выполнена в Казахском ПромстройНИИпроекте (АО КазНИИСА). Исследованы три типа сейсмоизолирующих фундаментов – на скользящих опорах, кинематических фундаментах и свайных фундаментах с высоким ростверком. Для фундаментов с высоким ростверком рассмотрены два варианта сопряжения оголовков свай с ростверком: жесткое соединение и шарнирное соединение. Для проведения испытаний применялась вибрационная машина В-3. Одновременно исследовались конструкции 9-ти этажного крупнопанельного здания серии 158 на сейсмоизолирующих фундаментах, на скользящих опорах и кинетических фундаментах. Разработаны рекомендации по расчету и проектированию исследованных зданий.

Наряду с этим, проведены экспериментальные исследования одиночных свай и свайных фундаментов с высоким ростверком жесткого и



шарнирного соединений. В статье представлены характеристики испытанных свай, рассмотрены изменения декрементов колебаний с уменьшением несущей способности и жесткости свай. Испытаниям подвергались два типа фундаментов с высоким ростверком (со свободной высотой сваи 1,6 м при жесткой заделке и высотой 2,1 м – при шарнирном соединении с ростверком). В статье приведены результаты расчета и эксперимента.

Даны сопоставительные данные по результатам исследований. Показано, что проведенные испытания подтверждают аналогию работы исследуемых конструкций с работой зданий с «гибким» нижним этажом. Преимущество первого решения заключается в повышении диссипации энергии и допущении больших перемещений при действии горизонтальных сейсмических нагрузок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: свайной фундамент, кинетический фундамент, высокий ростверк, демпфер, скользящая опора.

АБАКАНОВ М.С. Dr., Corresponding Member of IAE and NEA RK, Adviser to Director General, «KazSRICA» JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: m.abakanov@mail.ru

THE APPLICATION OF PILE FOUNDATIONS WITH ELEVATED GRILLAGE IN EARTHQUAKE RESISTANT CONSTRUCTION

ABSTRACT

The work was carried out at the Kazakhstan PromstrojNIiproekt («KazSRICA» JSC). Three types of seismic isolation foundations were examined, including foundations with sliding supports, kinematic foundations and pile foundations with elevated grillages. For foundations with elevated grillages, two versions of the pile top connection with grillage were considered: a rigid joint and a hinged joint. For the tests execution the vibration machine V-3 was applied. The 158 series 9-storey large-panel building structures on seismic isolation foundations on sliding supports and kinematic foundations were simultaneously examined. The recommendations were developed for the calculation and design of the studied buildings.

Additionally, the experimental studies of single piles and pile foundations with elevated grillages of rigid and hinged joints were performed. In the paper the tested piles characteristics are presented and the vibrations decrements changes with a decrease of the piles bearing capacity and stiffness are considered. Two types of foundations with elevated grillages (having 1.6 m free height piles rigidly fixed and 2.1 m height for a hinged joint with a grillage) were tested. The calculation and experiment results are presents.

The comparative data on research results are given. It is shown that the performed tests confirm the similarity of the investigated structures work with the work of

buildings having a «flexible» lower floor. The advantages of the first solution are the energy dissipation increase and the large displacements permissibility under the horizontal seismic loads actions.

KEY WORDS: pile foundation, kinetic foundation, elevated grillage, damper, sliding support.

Как показывают последствия сильных землетрясений, фундаменты редко повреждаются, воспринимая сейсмические воздействия и передавая их в верхние части зданий в разной степени в зависимости от применяемых видов фундаментов. В этой связи, для обеспечения сейсмостойкости зданий практический интерес заслуживают сейсмоизолирующие конструкции фундаментов. Известен ряд разработанных и запатентованных конструкций по сейсмоизоляции зданий, однако в практике проектирования и строительства применяются отдельные разработки, в основном в экспериментальных проектах, некоторые из которых прошли вибрационные или сеймовзрывные испытания, что позволило получить опытные данные о работоспособности и поведении этих систем при динамических воздействиях. Вместе с тем, вопрос остается весьма актуальным, поскольку результаты проведенных отдельных экспериментальных исследований по разным методикам недостаточны для применения сейсмоизолирующих фундаментов в массовом строительстве и практически отсутствуют данные об их поведении при умеренных и сильных землетрясениях. В связи с чем, необходимы дополнительные исследования по единой методике, преимущественно в натурных условиях, в целях обоснования надежности и эффективности выбранных конструкций фундаментов с учетом категорий грунтов по сейсмическим свойствам, конкретных конструктивных систем зданий и вероятностных характеристик возможных землетрясений в сейсмоопасных регионах.

В последнее время находят применение сейсмоизолирующие фундаменты на резинометаллических опорах. Например, в Алматы был запроектирован и построен торгово-развлекательный комплекс «Форум Алматы», в котором покрытие внутреннего светового пространства осуществлено на резинометаллических опорах. Разработано Нормативно-техническое пособие - НТП РК 08-01.6-2013 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ. Часть 1. Проектирование гражданских зданий. Сейсмоизолирующие фундаменты», развивающее принципы и правила проектирования зданий в сейсмических зонах, содержащиеся в разделе 10 СП РК EN 1998-1:2004/2012, идентичных Еврокодам.

В КазПромстройНИИпроекте (ныне АО «КазНИИСА») были проведены экспери-



ментальные исследования на натуральных объектах трех видов сейсмоизолирующих фундаментов – на скользящих опорах, кинематических фундаментах и свайных фундаментах с высоким ростверком с двумя видами сопряжения оголовков свай с ростверком – жестким и шарнирным. Были построены и испытаны вибрационной машиной В-3 экспериментальные 9-ти этажные панельные дома по 158 серии с сейсмоизолирующими фундаментами на скользящих опорах и кинематических фундаментах. По их результатам и данным экспериментальных исследований других опытных фрагментов разработаны рекомендации по расчету и проектированию. Однако, эти разработки не нашли практического применения в сейсмоопасных зонах Казахстана.

Ранее были проведены комплексные экспериментальные исследования, включающие статические испытания одиночных свай [1], а также статические и динамические испытания свайных фундаментов с высоким ростверком двумя видами сопряжения оголовков свай с ростверком – шарнирным и жестким [2], в качестве одного из видов сейсмоизолирующих фундаментов, с приложением горизонтальных знакопеременных циклических нагрузок в уровнях ростверков. Опытные работы были проведены на площадке, имеющей в пределах глубины забивки свай характеристики грунтовой толщи, представленной макропористыми суглинками от тугопластичной до твердой консистенции с прослоями и линзами песчаных грунтов различной крупности. В период проведения испытаний одиночных свай и свайных ростверков уровень грунтовых вод находился на глубине 9 м от поверхности площадки [1]. Свай

были забиты по лидерным скважинам в связи с достаточно высокой твердостью грунтов.

Одиночные сваи

Характеристики испытанных опытных одиночных свай, глубина их забивки, уровни приложенных горизонтальных сил и замеры горизонтальных перемещений в уровне грунта и верха свай прогибомерами приведены в табл. 1

По результатам испытаний одиночных свай на действие знакопеременной циклически возрастающей горизонтальной нагрузки получены диаграммы деформирования «Pг-Sг», перемещения верха свай и остаточные перемещения свай в уровне грунта, несущая способность и логарифмический декремент затухания колебаний, определенный по гистерезисным петлям деформирования по методике [3], учитывая кратковременность этапов нагружения. В табл. 2 приведены основные результаты опытов.

Из табл. 2 видно, что с уменьшением несущей способности и жесткости свай, связанных с сочетанием степени армирования и проявления сил сухого трения грунта по боковым граням свай, происходит рост логарифмического декремента ($\delta = 0,57, 0,61, 0,75$) вследствие повышения диссипативных характеристик. Исходя из жесткости свай по этапам нагружения, определена условная глубина защемления эквивалентной консоли в грунте, которая при малых (до 15 мм) перемещениях верха свай равнялась $5,5d$, а при больших перемещениях (до 70 мм) – $6,3-6,7d$.

Свайные фундаменты с высоким ростверком

В целях расширения возможности применения свайных фундаментов с высоким ростверком

Таблица 1

№ опытных свай	Сечение свай, см	Общая длина L, м	Глубина забивки свай, l, м	Марка бетона	Армирование	Уровень приложения Pг, l0, м	Расстояние от поверхности земли до прогибомеров, lн, м	
							П-1	П-2
1	30×30	12,84	11,1	300	8Ø28 АШ	1,74	0,05	1,94
2	30×30	10,70	9,1	300	8Ø22 АШ	1,60	0,05	1,45
3	30×30	9,55	8,0	300	4Ø18 АШ	1,65	0,12	1,55



Таблица 2

№ свай	№ циклов нагружений	P_{i3} , кН	S_{i3} , см	$S_{ост}$, см	δ
1	1	14,5	1,66	0,3	0,48
	2	21,3	2,76	0,24	0,65
	3	28,1	3,60	0,42	0,55
	4	35,7	4,16	0,33	0,55
	5	45,0	5,44	0,78	0,6
	6	50,0	6,82	0,98	0,58
Среднее значение					0,57
2	1	14,5	1,25	0,2	0,48
	2	20,6	1,4	0,2	0,84
	3	28,6	2,6	0,23	0,5
	4	35,6	3,35	0,45	0,52
	5	45,0	4,35	0,35	0,59
	6	50,0	5,8	0,75	0,5
	7	57,7	6,35	0,78	0,63
	8	65,0	7,65	1,0	0,82
Среднее значение					0,61
3	1	14,4	1,4	0,38	0,75
	2	20,6	3,08	0,36	0,58
	3	29,1	4,4	0,83	0,91
Среднее значение					0,75

в сейсмических районах, в том числе в качестве висячих свай в просадочных грунтах, были проведены статические и динамические испытания натуральных фрагментов свайных фундаментов с высоким ростверком.

Были испытаны два типа свайных фундаментов, первый – со свободной высотой свай 1,6 м при жесткой заделке оголовков свай в ростверк, второй – высотой 2,1 м и шарнирным сопряжением оголовков

свай с ростверком, при вертикальной нагрузке на каждый ростверк по 1200 кН. Основные характеристики свайных ростверков приведены в табл. 3.

На рис. 1 представлены диаграммы «нагрузка-перемещение» для свайных ростверков Р-1 и Р-2, построенные по максимальным нагрузкам и перемещениям на каждом этапе, при этом предельные горизонтальные нагрузки составили 386 кН для Р-1 и 400 кН для Р-2, а соответствующие перемещения были равны 3,0 см для Р-1 и 12 см для Р-2.

Как видно из графиков, диаграммы «нагрузка-перемещение» свайных ростверков удовлетворительно описываются линейной зависимостью. Перелом в диаграмме Р-2, свидетельствующий о снижении жесткости, происходит после преодоления (до момента срыва) суммарных сил сухого трения в шарнирных соединениях и по боковым поверхностям свай. В диаграмме Р-1 такое явление не наблюдается в связи с жестким сопряжением свай с ростверком и меньшими их горизонтальными перемещениями. При одинаковых предельных горизонтальных и вертикальных нагрузках

горизонтальное перемещение Р-2 оказалось больше в 4 раза, чем Р-1 и, соответственно, жесткость последнего выше в 4 раза.

Расчетные диаграммы деформирования Р-1 и Р-2, полученные по методикам [4] и [5], удовлетворительно согласуются с опытом. В указанных методиках, принимая условную консольную схему, предполагается изменение коэффициента постели грунта с глубиной по линейному закону



Таблица 3

№ ростверков	P-1				P-2			
Марка свай	СА-12 ^г /10				СП-12 ^г /10			
Марка бетона	30х30				30х30			
Сечение свай, см ²	300				300			
№ свай в ростверке	1	2	3	4	1	2	3	4
Глубина забивки свай, м	9,8	9,7	11,1	10,8	11,1	11,1	4,8	11,0
Армирование свай	8 Ø 22 АПІ				8 Ø 28 АПІ			
Высота свай от поверхности грунта, м	1,6				2,1			

с нулевым значением его на поверхности. При этом в [5] условная глубина защемления свай для P-1 принята равной 9d, а для P-2 – равной 8d, где d – ширина боковой грани свай. В указанных методиках не учитывается влияние вертикальной нагрузки на деформативность свай, что может дать существенные погрешности при упруго-пластической работе свай.

На рис. 2 приведены записи свободных колебаний фрагментов свайных ростверков вибрографом Гейгера, полученные при мгновенном сбросе приложенной оттяжки горизонтальной нагрузки P_g домкратом ДГ-63 (630кН).

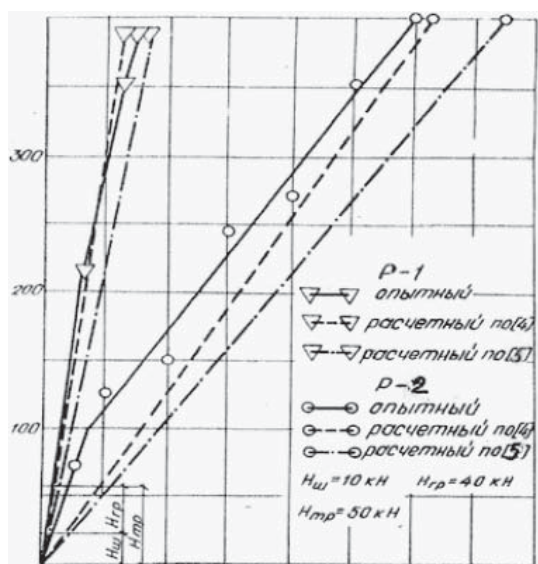


Рис. 1.

В табл. 4 приведены значения приложенных горизонтальных нагрузок, перемещений, периодов собственных колебаний и декрементов колебаний для двух типов свайных ростверков, из которых видно, что деформативность, периоды собственных колебаний и диссипативные свойства P-2 выше. Из общего сравнения работы одиночной сваи №1 и такой же сваи (по армированию, поперечным сечениям, марке бетона) в ростверке P-2 видно, что декремент затухания колебаний последнего выше в $0,63/0,57=1,11$ раза, без учета некоторого влияния динамического нагружения. Такое увеличение диссипативных характеристик свай в ростверке P-2 объясняется дополнительным влиянием сил сухого трения в шарнирах. Установленные факторы положительно скажутся на снижении сейсмической нагрузки на верхние части зданий, являясь одним из достаточно простых и эффективных сейсмоизолирующих фундаментов, рациональных и технологичных при применении в проектировании и строительстве, не отличающихся особой сложностью в сравнении с устройством традиционных фундаментов.

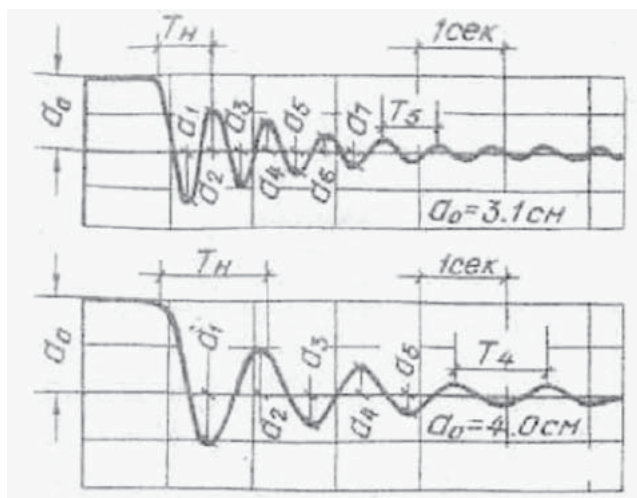


Рис. 2.

В P-1 происходит обратная картина, т.е. наблюдается снижение декремента затухания колебаний P-1 в сравнении с одиночной свайей №2 в $0,61/0,36=1,69$ раза, что показывает влияние жесткого защемления свай в ростверк. Следует отметить, что работа свайных фундаментов с высоким ростверком и жестким защемлением оголовков свай в ростверк, в отличие от шарнирного сопряжения, в принципе аналогична работе зданий с первым гибким этажом. Но при этом, первые имеют некоторые преимущества в части повышения диссипации энергии и возможностью допущения больших перемещений, что связано с увеличением гибкости свай вследствие изменения условной



Таблица 4

Свайный ростверк	Тип вибродатчика	Горизонтальная нагрузка и перемещение		Период собственных колебаний		Логарифмический декремент колебаний δ
		P_r , кН	S_r , см	$T_{нач}$, сек	T , сек	
P-1	ВБП	208	1,33	0,56	0,53	0,36
		295	2,06	0,61	0,57	
		347	2,55	0,66	0,60	
		383	3,13	0,67	0,62	
	Виброграф Гейгера	208	1,33	0,53	0,51	0,39
		295	2,06	0,58	0,55	
		347	2,55	0,61	0,58	
		383	3,13	0,65	0,62	
P-2	ВБП	123	2,06	1,1	0,96	0,63
		150	3,91	1,2	1,05	
		248	6,16	1,3	1,1	
		302,5	8,23	1,36	1,16	
	Виброграф Гейгера	123	2,06	1,07	0,95	0,63
		150	3,91	1,23	1,09	
		248	6,16	1,39	1,19	
		302,5	8,23	1,49	1,36	

научных тр., вып. 8 (18); под ред. Жунусова Т.Ж. – Алма-Ата, Казахстан, 1976.

2. Абаканов М.С., Аубакиров А.Т., Кусаинов А.К. Статические и динамические испытания различных типов свайных фундаментов с высоким ростверком // Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций: сб. научных тр., вып. 9 (19); под ред. Жунусова Т.Ж. – Алма-Ата, Казахстан, 1977.

3. Сорокин Е.С. Динамический расчет несущих конструкций зданий. – М.: Госстройиздат, 1956.

4. Завриев К.С. К расчету свай и свай-оболочек на горизонтальные и моментные нагрузки // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1974, №2.

5. Аубакиров А.Т. Экспериментальные исследования динамических характеристик свайных фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1975, №4.

REFERENCES

1. Aubakirov, A.T., Yerzhanov, S. & Abakanov, M.S. (1976). Single piles tests by alternating cyclic load. Researches of buildings and

глубины заземления свай в грунте в зависимости от уровня воздействия, что является положительным фактором.

Представленные материалы с анализом основных результатов проведенных комплексных экспериментальных исследований [1, 2] могут быть использованы в подобных работах по дальнейшему совершенствованию свайных фундаментов с высоким ростверком и шарнирным сопряжением оголовков свай с ростверком, с разработкой и применением различных видов конструкций демпферов, совместно повышающих диссипативные свойства фундаментов и эффекты сейсмоизоляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аубакиров А.Т., Ержанов С., Абаканов М.С. Испытание одиночных свай знакопеременной циклической нагрузкой // Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций: сб.

structures seismic resistance: Collection of scientific works, 8 (18). Zhunusov T.Zh. (ed.). Almaty.

2. Abakanov, M.S., Aubakirov, A.T. & Kusainov, A.K. (1977). Static and dynamic tests of various types of pile foundations with elevated grillages. Researches of buildings and structures seismic resistance: Collection of scientific works, 9 (19). Zhunusov T.Zh. (ed.). Almaty.

3. Sorokin, E.S. (1956). Dynamic analysis of buildings load-bearing structures. – М.: Gosstroizdat.

4. Zavriev, K.S. (1974). On the piles and shell piles design for horizontal and moment loads. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2.

5. Aubakirov, A.T. (1975). Experimental investigations of pile foundations dynamic characteristics Soil Mechanics and Foundation Engineering, 4.

Статья поступила в редакцию 24.01.2019 г.